

東海村原子力発電所 (II)

原子力部技術課 角田良吉

Tokaimura Nuclear Power Station (II)

By Ryōkichi Tsunoda
(Technical Sect., Atomic Energy Dep't.)

Synopsis

Tokaimura Nuclear Power Station for Japan Atomic Power Company supplied by General Electric Company of England is now under construction.

This station is the typical British style commercial nuclear power station, and author here stating the design philosophy of this type of station and assignment, scope of domestic supply, general construction method of Tokaimura Nuclear Power Station.

II. 発電所概観

1. 序言

昭和34年12月22日、日本原子力発電株式会社と英国ゼネラルエレクトリック社(G.E.C.)との間に東海村公称150MW原子力発電所の建設に関する正式契約が成立し、引き続いてG.E.C.と富士電機製造株式会社との間に国産部分に関する契約が調印されたことは大変喜ばしいことである。

仕様書によると、設計および重要部分の製作は英国グループの手で行なわれ、日本で製作できると思われる部分は、英国グループから日本の製造会社に下請けさせられ、その部分は邦貨で支払うことと指定されている。したがってGEC Simon Carves原子力グループと協力して、富士電機が主となり第一原子力グループが建設および製作の相当部分を担当することになるが、製造、建設の各段階において完成までの全責任はもちろんGECグループが持つものである。原子力発電所の建設工事は技術的な面からみても、組織の面からみても大きな仕事であり、設計、製作、建設の各部門で緊密に協力して進みたいと思っている。

G.E.C. Simon Carvesの設計は、コールドホール形の基本的な特長がそのまま生かされている。原子炉は黒鉛減速の炉でマグネシウム合金の被覆に包まれた天然ウランを燃料として、加圧した炭酸ガスで冷却される。炭酸ガスは外に設けられた熱交換器で蒸気を発生し、従来の形の蒸気タービンを駆動する。燃料チャンネルおよび制

御棒は垂直方式としコールドホールと同じであり、炉心も大体同じ形である。生体しゃへいはコンクリートであり、熱しゃへい体は省略された。この形はコールドホールのもの、およびG.E.C. Simon Carvesグループが現在建設中のハンターストンの原子力発電所と異なっているところが多いが、もちろんガス冷却形の開発研究の最終的なものを意味するのではなく、コールドホールの原形からの第一段階の前進、あるいはハンターストンを第一段階とするならば、第二段階の前進を意味するものである。与えられた資本に対して最大の電気出力をあげること、すなわち発電コストを低くすることが何といたっても最終的な基準であり、次に安全性と信頼度に重点がかけられている。さらに今回の場合の大きな特長は耐震性を考慮したことであり、原子炉炉心および圧力容器、ガスダクト支持その他に特別な設計をしている。

2. 仕様諸元

設計および建設

G.E.C.-Simon Carves Atomic Energy Group
および第一原子力産業グループ

形式 熱中性子不均質形

目的 発電

施設場所 東海村

容量 最大連続発電機定格：原子炉1基、タービン発電機2基により 166 MW
正味電気出力：158 MW (冷却水 20°C)

燃料 天然ウラン：中空棒 外径 4.06 cm
内径 2.37 cm, 長さ 71.4 cm

ウラン棒1本当りの重さ：11.3 kg
 原子炉当りのウランの重さ：172 t
 垂直チャンネル中の燃料要素の数：8本/
 チャンネル
 燃料要素チャンネルの数：1916
 被 覆 マグネシウム合金
 支持方法：黒鉛スリーブによる個別支持
 減 速 材 黒 鉛
 コアの大きさ：径 38 ft 5½ in
 :高さ 21 ft 9 in
 反射体を含めた全体の大きさ：
 径 45 ft 4 in, 高さ 26 ft 9 in
 原子炉当りの黒鉛総重量：1,210 t
 黒鉛支持方法：鋼製円柱形 Shell
 格 子 9.3 in ピッチの正三角形
 圧力容器 Coltuf 28
 形状および寸法：内径 62 ft 0 in の球形
 特殊な熱絶縁を内面に行なう。
 厚 み：3¼ in
 支持方法：シリンダ状スカート，上部にも耐震
 用スカートを設ける。
 最大運転内圧：209 p.s.i.g.
 運転時最適容器温度：400°F
 冷 却 剤 炭酸ガス
 入口温度：191°C
 出口温度：402°C
 流 量：5,760 lb/sec
 ダクトの数：入口 4, 出口 4
 ガス循環機 原子炉当り 4 台の垂直軸遠心送風機で熱
 交換器圧力容器と一体となる。
 駆 動：背圧蒸気タービン
 循環機入力：7,375 HP
 回 転 速 度：1,200 rpm
 燃 焼 率 3,880 MWD/T
 制 御 チャンネルの数：168
 制御棒の構造：ステンレス鋼の被覆を施し
 たボロン鋼
 棒の寸法：2¾ in, 長さ 21 ft
 非常停止用装置：44 チャンネルにボロン
 鋼球を放出する装置を付属する。
 熱交換器
 原子炉当りの数：4
 ガス流量：1基当り 5,706×10⁶ lb/h
 入口ガス温度：747.5°F

出口ガス温度：383°F
 高圧蒸気流量：1基当り 252,250 lb/h
 高圧蒸気圧力：915 p.s.i.g.
 高圧蒸気温度：718°F
 低圧蒸気流量：1基当り 140,000 lb/h
 低圧蒸気圧力：290 p.s.i.g.
 低圧蒸気温度：692°F
 タービン発電機
 発電所当りの基数：2基の多段軸流衝動反動式
 1基当りの連続最大定格：83MW
 回転数：3,000 rpm

3. 構造概要

日本原子力発電株式会社向けの発電所は、G.E.C.グループが現在ハンターストンにおいて建設中の南スコットランド電気局向の、発電機出力360MW原子力発電所を基礎にして設計されているが、それより格段と進歩、改良がなされており、さらに英国で建設されるのではなくて、日本で建設されるのであるから、日本向としての特殊条件である耐震構造が付加されている。ハンターストンの場合より改良された主な点を述べると次のようなものである。

1) 中空燃料の採用

コールドホールおよびハンターストン初期計画のごとく棒状の燃料要素をやめて中空燃料要素を採用した。それにより燃料の熱定格および寿命に革命的な進歩が期待されている。

2) 地震対策

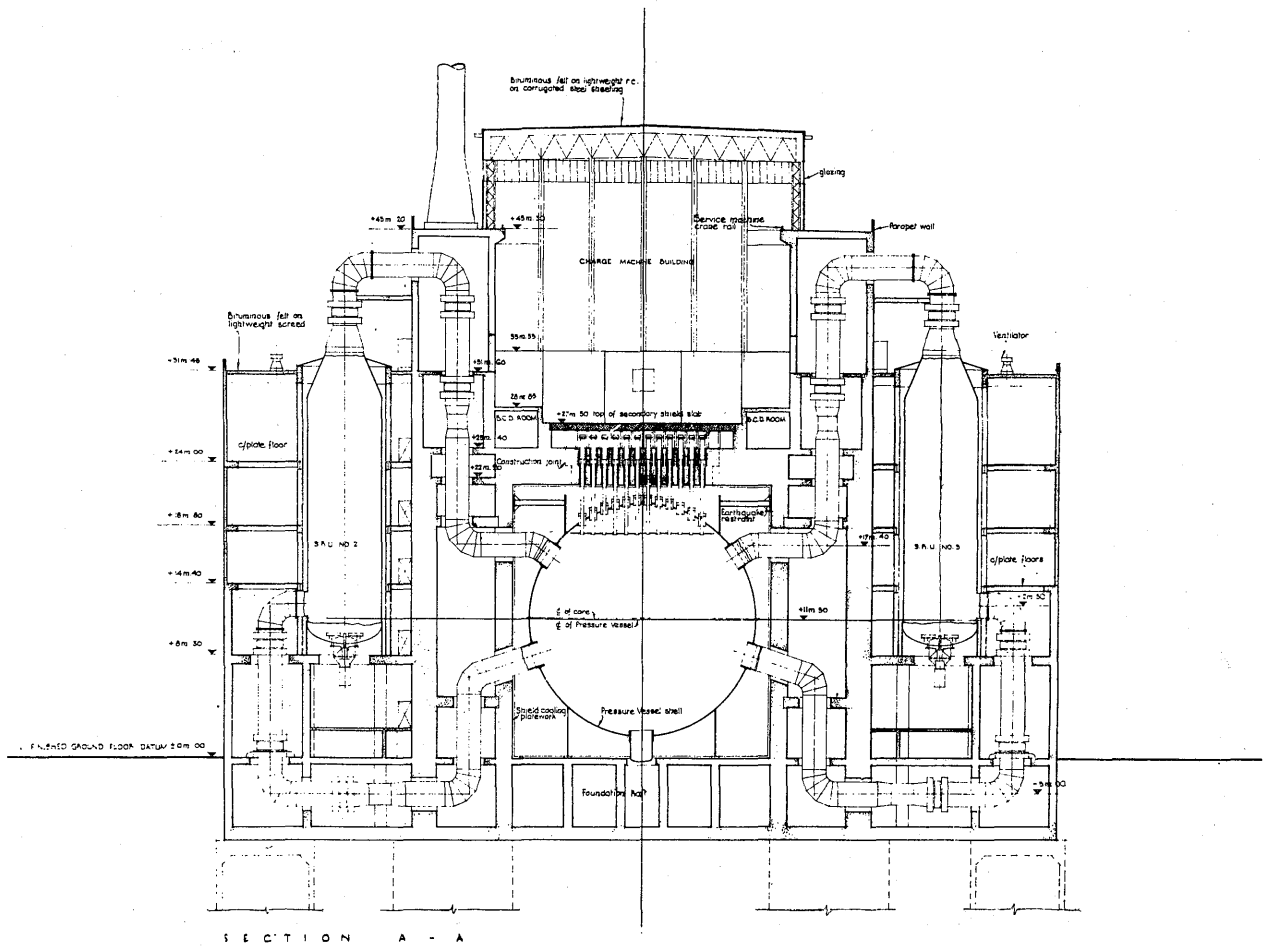
とくに日本向であるための付加条件であり、燃料装填機を炉心の上部に変更し、黒鉛集合体である炉心の周囲に強固な鋼製の構造物を配し、原子炉圧力容器の下部支持スカートの他に上部にもスカートを設けており、その他至るところ、耐震に関して英国や米国で建設中の原子力発電所では全くみられないような慎重な考慮が払われている。

3) 一重圧力容器

ハンターストンでは原子炉圧力容器の上部は二重になっているが、今回のものは薄い特殊な熱絶縁物が開発されたので、それをシェルの内側に施すことにより圧力容器は一重となり、形も小さく、また加工も容易となった。そしてこれにより全体のコストを下げる事が可能となった。

4) 送風機駆動方式の改良

現在英国で運転および建設中の原子力発電所の送風機駆動方式はすべて電動機であり、速度調整はDCモータ



第4図 原子炉系断面図 (東海村原子力発電所)
Fig. 4. Section of nuclear reactor system (Tōkaimura nuclear reactor P.S.)

レオナード式、DCモータ水銀整流器格子制御、ACモータ流体接手、ACモータ可変速タービン発電機などいづれも電動機を使用しているが、今回のは背圧蒸気は再びスーパーヒートされて主タービンにゆくようになっている。これは熱サイクルの改良だけでなく、主な目的は安全性の見地からであって、すなわち熱交換器の蓄積エネルギーが常に存在することにより、これが fly-wheel の役目をするからである。事故があった場合、送風機の運転が直ちに止まることが大変危険である。電動駆動の場合に比べて、この危険率は大変少ないわけである。さらに本方式の特長は全体のコストが大変低くなることである。

反射体を含めて、直径 45 ft 余、高さ 26 ft 余の原子炉の炉心は、燃料要素用の 1,916 本のチャンネルおよび制御棒用 168 本その他が貫通している。またインタロックした黒鉛ブロックは、格子構造の上にある鋼板上に支えられ、この格子構造物は圧力容器に溶接されたスカートによって支持される。圧力容器は内径 62 ft の球形で格子支持物と反対側に溶接されたシリンダ状のスカ-

ートにより支持され、さらに上部にもスカートを付属し、それは生体しゃへい内側面に接続して圧力容器の横方向の移動をおさえている。この上部スカートは地震時のみ必要なものである。全構造物はベースのコンクリートラフトにより支えられるが、このコンクリートラフトは原子炉と熱交換器とコモンベースになって一体となっている。ハンターストンの場合は各部を別々のコンクリートに乗せたが下に固い岩盤があったので、地震でもハンターストンの場合はコモンベースと同じになるが、今回のものは基礎は一体となったコンクリートラフトであり、さらにそれは生体しゃへいと一体となり、原子炉、熱交換器、ガスダクトがそれらに強固に固定されている。

黒鉛スリーブ中に個々に支えられた燃料要素の装填と取り出しは、181 本のスタンドパイプを通して上部から行なわれるが、このスタンドパイプには常時は制御棒駆動機構および非常停止用装置があり、燃料の出し入れを行なうときだけ取りはずされる。装填と抜取作業は一つの機械で行なわれ、かつ原子炉の全負荷運転中に行なう

ことができる。主生体しゃへいは側面厚さ 10 ft, 上部 10 ft の鉄筋コンクリートでできている。熱しゃへいは施されていないが、原子炉の上には被覆されたボロン鋼を設けて上向きの熱中性子束を減少させている。

熱交換器は 4 台で、高さ、81 ft, 直径 20 ft 余で原子炉のまわりに対称的に据えられ、炭酸ガス循環機は各熱交換器の底部にあり、背圧タービンより減速歯車を通じて駆動される。ダクトの熱膨張はベローにより吸収される。

4. 制御および計装

原子炉およびその付属設備の制御はすべて中央制御室で行なう。タービンはタービン付近のパネルで監視されるが、必要なときはタービンの監視も中央制御室で行なえる。計測用電源は、電池で駆動される 4 台の電動発電機から供給される。炉の出力と燃料温度は別々の小さな乾電池ではかる。可能な限り、特に安全回路と制御棒操作関係は、fail safe に設計されている。

原子炉停止から、全出力の 25% までは手動制御で、25% から全出力までは自動制御で行なう。制御系は大きくわけて、原子炉、タービン、およびガス送風機の三つの部分に分けられる。原子炉の制御は中性子束が種々のラジアルモードで振動する可能性があるため、これを防ぐために精調整制御棒は九つのグループに分配されている。制御棒のコントロールはオン・オフ方式を用い、1 グループの最大変化率は 0.22×10^{-5} K/sec である。制御棒が上端に達するとアラームが発せられる。

精調整用制御棒の 1 本がある一定時間モータでそう入される。この間に精調整棒は、出口一定温度制御により自動的に抜き出される。G.E.C. はアナログコンピュータを用いて、負荷変化、平常運転中の種々な外乱、装置の部分的故障、たとえばガス送風機の故障などについて調

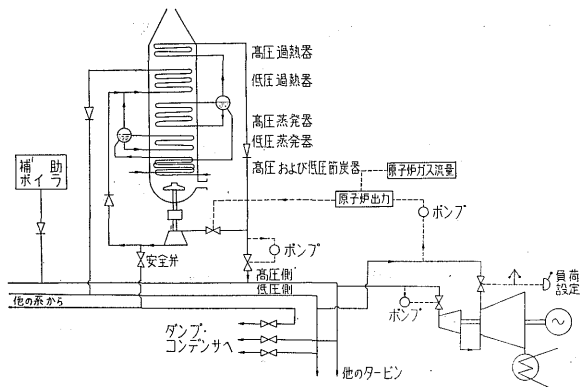
べた結果、チャンネル出口温度の制御が大変良い方法であることが立証された。

このプラントでは、負荷設計はタービンの速度制御ギヤの設定を変えることを行なう。低圧シリンダを蒸気を少なくした場合を考えると、まず低圧蒸気圧力が上昇し、それにより信号を得てガス流量制御器を働かせ、ガス流量を減少し、チャンネル出口ガス温度が上昇し、上昇した温度により信号を得て、ガス温度制御器を働かせ、精調整制御棒駆動機構を働かせ、制御棒をそう入し原子炉反応度を下げ、結局原子炉チャンネル出口ガス温度を一定に保つ。この場合ガス送風機駆動用背圧タービンの高圧蒸気消費量の減少は、高圧蒸気発生量の減少より時間的に早く、そのため残った高圧蒸気は高圧タービンに利用されるから、高圧蒸気圧力の増大を防ぐことができる。流量制御器が誤動作しても、温度制御器は安全側に働く、すなわち、もし流量制御器が流量を減少させれば温度制御器は出口温度を一定にするように、原子炉出力を減少させる方向に働き、遂に炉は停止する。流量制御器が流量を増す方向に誤動作してもガス送風機に必要な動力は回転数の 3 乗に比例して増加することと、駆動タービンの出入口間の蒸気圧力降下は高圧と低圧とできまる一定値をとるから、回転数上昇は自ら制御され、タービンの過速トリップまでには至らない。高圧蒸気系のパイプが破損した場合は、それに属するガス送風機速度が落ちる結果、残りの 3 台の送風機速度は上昇するが、危険条件には至らない。低圧蒸気系の破損の場合は、ガス送風機用タービン入口、出口圧力差が大きくなるため速度が上昇する。低圧蒸気圧力が降るため、送風機タービンは制御器の働きで最高速度まで上昇し得るが、この時も過速トリップまでには立ち至らない。ガス送風機の 1 台が故障した場合は、ガスの全流量は約 15% 少なくなる。

原子炉停止 (Shut down) は次の条件の時起こる。

- 1) 中性子束密度が高くなった時
独立した 3 個の熱中性子柱から成り、イオン検出器を持っている。熱中性子柱の任意の二つのイオン検出器が高中性子束を検出すると原子炉はトリップする。
- 2) 冷却ガス温度が高くなった時
おのおのの高温ガスダクトの中には熱電対があり、いずれか二つのダクトの温度が上昇しすぎた時トリップする。
- 3) 冷却ガス圧力変化率が正常でない時

これは原子炉ベッセルと補助ベッセルとの間に結んだ差圧計器で検出し、最小 10 p.s.i./min まで可変である。



第 5 図 蒸気系制御系統図 (東海村原子力発電所)
Fig. 5. Control system of steam (Tōkaimura nuclear reactor P.S.)

4) 原子炉周期が低くなった時

各熱中性子柱にある、高低対数出力ピリオド計で出力は 10 W から 1,000 MW まで計測できる。また周期は +10、無限大から -10 秒まで計測できる。低炉周期トリップは +10 から +30 秒の間で調整可能である。

5) 燃料要素温度、ガス出口温度、および黒鉛温度の異常上昇。

6) 二つのガス送風機が故障した時

この故障は流量の変化率を検出することにより発見できる。1 台の故障のときはトリップせず、ガスバルブを閉じるが、2 台の時トリップする。

7) 高低温両側のガスバルブが閉じない時

ガス送風機が故障した時は、低温側ガスバルブが自動的に閉じる。もしこのバルブが閉じない時は高温側ガスバルブが閉じる。もしこの二つのバルブが閉じない時はガスの逆流も起こり得るので、原子炉をトリップする。

8) トリップ用押しボタン

この押しボタンは、安全回路に入っていないので、直接制御棒駆動モータ用接触子を操作するようになっている。

9) 制御棒駆動電源の故障

制御棒駆動電源は 2 重になっていて、一つが故障したら自動的に切り換わるが、それでも故障の場合は安全回路に関係なく、原子炉をトリップする。

10) 地震

垂直加速度について検出継電器があり、30—100 gals の間で調整できる。

以上の他に、ボロン鋼球放出式の非常停止装置がありこれは専用の安全回路をもっていて、次のような場合トリップする。

(1) 地震

水平加速度について検出し、100~300 gals の間で調整できる。

(2) 冷却ガス圧力変化率が異常の時

これは原子炉ベッセルの破壊の検出で、トリップレベルは 40 p.s.i./min である。

(3) 地震変位検出による場合

地震変位には次のようなものがある。

(a) 生体しゃへいに対する原子炉ベッセルの水平動

(d) 生体しゃへいに対する原子炉ベッセルの上下動

(c) 原子炉コア頂部の原子炉ベッセルに対する動き

(b) コア支持グリッドの原子炉ベッセルに対する動き

発明の紹介

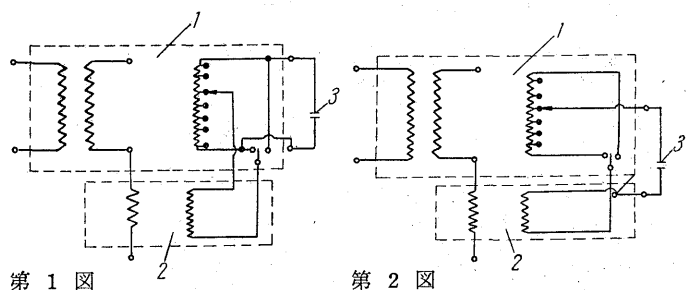
調整変圧器装置 (特許第 257038 号)

電力用あるいは電気炉用変圧器装置において、主変圧器に直列変圧を接続し、直列変圧器出力巻線の電圧あるいは位相を変えて、主変圧器と直列変圧器の合成出力電圧の大きさを变化させることは周知であります。

また給電線路の力率を改善するために、進相負荷を給電回路に接続する場合、線路の電圧が高い時は進相負荷が大容量なもの

を要し、あるいは変圧器に特別な三次巻線を設けてこれに進相負荷を接続すれば、変圧器が不必要に大容量となってしまう。

この発明は従来装置のように進相負荷あるいは変圧器を大容量かつ高価なものとするこなしに有効な力率改善を得ようとするものでありまして、主変圧器の二次巻線と直列に直列変圧器の二次巻線を接続するとともに、直列変圧器の励磁巻線と電氣的に接続される主変圧器の三次調整巻線の一部分ないし全部分に直列または並列に力率改善用の進相負荷を接続させるように構成されます。



第 1 図

第 2 図

したがって力率を良好に改善できるとともに、さらに進相負荷の端子電圧を線路電圧とは無関係に経済的な値に選べます。また調整巻線の容量はこのために非常に大きくなることはなく、一次巻線の容量はかえって大幅に節約できます。この発明は特に力率が悪く、電圧調整を要求される電気炉変圧器にはきわめて有効であります。

図において 1 が主変圧器、2 が直列変圧器、3 が進相負荷を示します。第 1 図は進相負荷を調整巻線に並列接続した場合、第 2 図は直列接続した場合です。

(特許課 吉田)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。